

# ROBOTTIAVUSTEISEN SÄRMÄYKSEN HANKINTASELVITYS



Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö

Kone- ja tuotantotekniikka

Riihimäki, kevät 2017

*Juuso Ylönen*

Juuso Ylönen

Riihimäki  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Tuotantotekniikka

---

<b>Tekijä</b>	Juuso Ylönen	<b>Vuosi</b> 2017
<b>Työn nimi</b>	Robottiaivusteisen särmäyksen hankintaselvitys	

---

## TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana oli ProLaser Oy Riihimäeltä. Työn tarkoituksena oli ottaa selvää, mitä kaikkea tulee ottaa huomioon, kun liitetään robotti särmäyspuristimen yhteyteen. Lisäksi robotin hankintaa varten tehtiin kustannuskartoitus.

Hankkeen tarkoituksena on suurten sarjojen automatisoiminen, jolloin pitkät ja suuret sarjat eivät enää rasita työntekijöitä. Robotisoinnin avulla saadaan sarjan valmistusaikaa lyhennettyä ja näin ollen vähennettyä mahdollisia myöhästymisiä. Robotin avulla saadaan aikaan tarkka lopputulos kustannustehokkaasti, sillä robottia voidaan käyttää myös työajan ulkopuolella, jolloin päivittäinen käyttö saadaan maksimoitua. Robotin hankintakustannukset riippuvat robotin kantokyvystä, sekä siitä, halutaanko valmis paketti jonkun muun toimijan rakentamana, vai rakennetaanko robotisolu itse.

Opinnäytetyön teoriaosuutta varten kerättiin tietoa laitetoimittajilta sekä kirjallisuudesta, jossa käsitellään särmäystä, robotiikkaa sekä alan standardeja. Särmäykseen liittyvissä asioissa tietoa saatiin myös ProLaser Oy:n työntekijöiltä.

Tämä työ oli robottiaivusteisen särmäyksen hankintaselvitys ja varsinainen hankinta tarkempine yksityiskohtineen tehdään myöhemmin.

**Avainsanat** robotiikka, särmäys, hintapyyntö, kustannuslaskelma,

**Sivut** 25 s.

Riihimäki  
Mechanical Engineering  
Production techniques

---

<b>Author</b>	Juuso Ylönen	<b>Year</b> 2017
<b>Subject of Bachelor's thesis</b>	Pilot study for the acquisition of a robot assisted press brake	

---

ABSTRACT

This thesis project was commissioned by ProLaser Oy from Riihimäki. The purpose of this project was to collect information on what to consider when a robot is connected to a press brake. Also a cost calculation was made for the acquisition of the robot.

The purpose of the acquisition was to automate all major orders which are heavy for the employees. With the help of automation the manufacturing time will be reduced, which will minimize potential delays. Automation guarantees a precise quality of the product cost-efficiently, because the robot can also be used outside of working hours. The cost of the acquisition depends on the robot's carrying capacity and whether the automation cell is a readymade package put together by a third party or whether it is self-made piece by piece.

The theory applied in this thesis was gathered from robot dealers and from literature dealing with metal bending, robotics and standards. Information concerning metal bending was also gathered from the employees of ProLaser Oy.

This thesis was a pilot study for the acquisition of a robot connected to a press brake. The actual acquisition with precise details will be conducted later.

**Keywords** Robotics, press brake, offer request, cost calculation

**Pages** 25 p.

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	SÄRMÄYS.....	2
2.1	Särmäyspuristimella taivuttaminen.....	2
2.2	Vapaataivutus ja pohjataivutus.....	4
2.2.1	Taivutusvoima.....	4
2.2.2	Takaisinjousto ja taivutusvirheet.....	5
2.2.3	Pintavaurioiden estäminen särmäessä.....	5
3	ROBOTIIKKA.....	5
3.1.1	Robotiikan kehitys.....	6
3.2	Robottien rakennetyypit.....	6
3.2.1	Nivelvarsirobotti.....	7
3.2.2	Portaalirobotti.....	8
3.2.3	Scara.....	8
3.2.4	Rinnakkaisrakenteinen robotti.....	9
3.3	Robottien käyttösovelluksia.....	10
3.4	Robotin ohjelmointimenetelmät.....	10
3.4.1	Ohjelmointi opettamalla.....	10
3.4.2	Ohjelmointi johdattamalla.....	10
3.4.3	Offline-ohjelmointi eli etäohjelmointi.....	11
3.4.4	Parametrinen ohjelmointi.....	11
3.4.5	Koordinaatistot.....	11
3.5	Vaatimuksia robotille.....	12
3.6	Tarraimet.....	12
3.7	Tarraintyypit.....	13
3.7.1	Mekaaniset tarraimet.....	13
3.7.2	Magneettitarraimet.....	14
3.7.3	Alipainetarraimet.....	15
3.8	Työkalun vaihtaja.....	16
3.9	Robotin aistit.....	16
3.10	Robottien turvallisuus & standardit.....	17
4	ROBOTTISÄRMÄYKSESSÄ HUOMIOITAVAT ASIAT.....	17
5	LÄHTÖTIEDOT TARJOUSPYYNNÖILLE.....	18
5.1	Tarjoukset.....	18
6	SÄRMÄTTÄVÄT KAPPALEET.....	20
7	POHDINTAA.....	22
7.1	Kustannuslaskelma.....	23
7.2	Laskenta-analyysi.....	24
	LÄHTEET.....	25

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## 1 JOHDANTO

Tämän työn tarkoituksena oli tehdä selvitys robotin hankkimisesta särmäyspuristimen yhteyteen. Tarkoituksena oli selvittää, että mitä kaikkea tulee ottaa huomioon valittaessa oikeaa robottia sekä mitä kaikkea muuta tulee ottaa huomioon, kun robotti liitetään särmäyspuristimen yhteyteen. Tämän lisäksi tarkoituksena oli selvittää, mitä robotin liittäminen särmäyspuristimeen maksaa avaimet käteen - periaatteella. Avaimet käteen - periaate tarkoittaa sitä, että laitetoimittaja on vastuussa robotista sekä sen toimilaitteesta, niiden liittämisestä särmäyskoneen yhteyteen, paikoitusasemista robottisolussa sekä turvallisuusasioista. Työn tilaajana toimi ProLaser Oy Riihimäeltä.

ProLaser Oy on riihimäkeläinen konepaja, jonka pääosaamista on vesi- ja laserleikkaus sekä särmäys. ProLaser Oy on perustettu vuonna 1989 ja on ollut ensimmäisten yritysten joukossa Suomessa aloittamassa laserleikkausta. Vesileikkaus on aloitettu vuonna 2002. Yhtiön tämänhetkinen työntekijämäärä on 18 henkilöä ja viime vuoden liikevaihto oli 2,7 miljoonaa euroa. Ennuste tämän vuoden liikevaihtoon on noin 3,3 miljoonaa euroa.

Suomen Vesileikkaus Oy osti ProLaser Oy:n koko osakekannan vuonna 2012. Suomen Vesileikkauksen liikevaihto vuonna 2016 oli 15,8 miljoonaa euroa ja työntekijämäärä 70.

## 2 SÄRMÄYS

Taivutus on teräslevyjen muovauksessa yksi yleisimmistä menetelmistä. Levyn taivutettavuutta nimitetään särmättävyydeksi. Särmäyksessä levyn materiaaliominaisuudet ja paksuus vaikuttavat takaisinjousto- ja siihen, miten pieneen säteeseen levy on mahdollista taivuttaa eli minimitaivutus- säteeseen. ”Särmättävyyteen vaikuttavat mm. mikrorakenteesta ja koostu- muksesta riippuva perusmateriaalin muodonmuutoskyky, levyn pinnanlaa- tu, levyn valssaussuunta, taivutusmenetelmä ja työkalujen kunto.”

(Aaltonen, Andersson & Kauppinen 1997, 43.)

”Teräslevyjen särmättävyys ilmenee usein standardeista tai valmistajan ta- kaamista materiaalitiedoista. Markkinoilla on erityisiä särmättäviä tai muovattavia levylaatuja, jotka erotetaan tavallisista levyistä lisämerkin- nöin.” (Aaltonen ym. 1997, 43-44.)

Määrämittaan leikattuun levyyn on monissa tapauksissa taivutettava suora taive tai useita taiteita. Taieet voivat olla erisuuntaisia tai eri kulmaan taivutettuja. Taivuttaminen teoreettisesti tarkasteltuna on monimutkainen tapahtuma, mutta johtuen materiaalien käyttäytymiseen liittyvistä epävar- muustekijöistä, tavallisista taivutustöistä selvittää usein ammattitaidolla sekä likimääräistaulukoilla. Arvioitaessa esimerkiksi taivutusvoimaa, riit- tää usein tieto voiman suuruusluokasta suhteessa koneen taivutuskykyyn. (Aaltonen ym. 1997, 51.)

Särmäyspuristimen liikkeitä ohjaa toimilaite, johon syötetyt arvot määrit- tävät puristimen voiman sekä nopeuden. Toimilaite ohjaa myös takavas- teet oikeille paikoilleen, jotta levy taitetaan oikeasta kohdasta. Voima työ- liikkeeseen saadaan hydraulipumpulta, jota ohjataan sähkömoottorilla.

(Aaltonen ym. 1997, 60-61.)

Levyjä voidaan särmätä taivutuskoneella, taivutusautomaatilla sekä sär- mäyspuristimella. Tässä työssä tarkastellaan kuitenkin vain särmäyspuris- timella taivuttamista.

### 2.1 Särmäyspuristimella taivuttaminen

Taivuttamiseen käytetään useimmiten särmäyspuristinta, jossa levy taipuu kahden työkalun, painimen ja vastimen, välissä. Työkalut voivat olla koko puristimen leveyden mittaisia tai koostua osista. Lyhyitä paininkappaleita voidaan hyödyntää rakentamalla määrämittainen työkalu, tai siten, että pu- ristuspalkin eri kohtiin asennetaan eri työkalut, jolloin saadaan samanai- kaisesti useita työasemia. Näin voidaan siirtyä työvaiheesta toiseen suju- vasti. (Aaltonen ym. 1997, 54-55.)

Etenkin sarjatuotannossa käytetään NC-ohjattuja särmäyspuristimia. Ko- neen työkalujen takana ovat takavasteet, joita vasten levy työnnetään ja näin ollen levy taivutetaan oikeasta kohdasta. Tarkan lopputuloksen saa- miseksi koneeseen syötetään oikeat arvot, millä voimalla taivutetaan, sekä mitat, eli takavasteiden oikea paikka ja kuinka lähelle toisistaan työkalut painetaan. Oikean ohjelman valittuaan, jää koneen käyttäjälle vastuu siitä,

että koneessa on oikeat työkalut. Kuvassa 1 on kaksi modernia NC-ohjattua särmäyspuristinta ProLaser Oy:n tiloissa Riihimäellä. (Aaltonen ym. 1997, 61-62.)



Kuva 1 (Atte Antila / ProLaser Oy 2016)

Painimen kärki on pyöristetty. Suora painin on yleisin, mutta myös ns. hanhenkaulapainin on yleisesti käytetty. Yleiskoneena käytettävässä särmäyspuristimessa tarvitaan yleensä vain muutamia työkaluja, mutta sarjatuotannossa käytettävät työkalut voivat olla monipuolisia ja komplisoituja. Vastimen yleisin muoto on v-ura. Muitakin muotoja, kuten u-uraa käytetään. Erikoistyökaluissa vastimen muoto voi vaihdella suorasta laatasta hyvinkin monimutkaisiin rakenteisiin. (Aaltonen ym. 1997, 55.)

Kuvassa 2 on esillä särmäyspuristimen työkaluja.



Kuva 2 (Atte Antila / ProLaser Oy 2016)



## 2.2 Vapaataivutus ja pohjataivutus

Vapaataivutuksessa levy ja työkalu koskettavat toisiaan ainoastaan painimen kärjessä ja vastimen uran reunoissa. Taipeen geometria määräytyy työkalujen keskinäisen etäisyyden mukaan. Lisäksi taivutustulokseen vaikuttavat taivutettavan levyn materiaaliominaisuudet sekä paksuus. (Aaltonen ym. 1997, 56.)

”Eniten käytetty taivutusmenetelmä on vapaataivutus v-uraan. Vastimen uran leveydeksi valitaan alle 3 mm:n levynpaksuuksilla 6-8 kertaa levynpaksuus ja yli 3 mm:n levynpaksuuksilla 8-12 kertaa levynpaksuus. Nyrkkisääntö on 8 kertaa levynpaksuus 10 mm:n paksuuteen saakka, sitä paksummilla 10 kertaa levynpaksuus ja lujilla materiaaleilla 12 kertaa levynpaksuus.” (Aaltonen ym. 1997, 56.)

”Taivutetun levyn sisäsäde  $r_s$  on lähes riippumaton levynpaksuudesta. Se voidaan laskea kaavalla  $r_s = 5w/32$ , (1) jossa  $w$  on vastimen v-uran leveys eli  $r_s$  on noin  $1/6$  vastimen v-uran leveydestä. Levyn ulkopuolinen taivutussäde  $r_u$  on suunnilleen  $1,25 \cdot r_s + s$ .” (Aaltonen ym. 1997, 56.)

Pohjataivutuksessa levy puristetaan painimen ja vastimen väliin, siten että työkalujen etäisyys on joka kohdassa levyn paksuuden suuruinen. Menetelmä edellyttää työkohtaisia työkaluja. Pohjataivutusta käytetään yleensä levynpaksuuksille  $s < 2$  mm sarjatuotannossa haluttaessa korkealaatuisia osia. Voimantarve on vapaataivutukseen verrattuna moninkertainen, yleensä noin 3-8 -kertainen. (Aaltonen ym. 1997, 57.)

### 2.2.1 Taivutusvoima

Levyn taipuminen tapahtuu vaihteittain. Taivutusvoiman tarve vaihtelee taivutuksen edetessä siten, että voima kasvaa ensin tasaisesti ja vähenee sen jälkeen. Jatkettaessa taivutusta vapaataivutuksesta pohjataivutukseen voima kääntyy jälleen nousuun, joka edelleen kiihtyy taivutuksen alkaessa siirtyä pohjataivutusvaiheeseen. (Aaltonen ym. 1997, 57.)

”Vapaataivutuksen suurimman taivutusvoiman tarkkaan laskemiseen ovat eri tutkijat kehittäneet yhtälöitä, joista käsikirjoissa on annettu yksinkertaistettu kaava:

$$F = C \cdot R_m \cdot b \cdot s^2/w \quad (2)$$

jossa

$C$  = vakio 1,15...1,8, tavallisesti 1,4...1,5

$R_m$  = levyn murtolujuus

$b$  = taivutuksen mitta, taivutusleveys

$s$  = taivutettavan levyn paksuus

$w$  = alatyökalun v-aukon leveys, yleensä  $6...12 \cdot s$ , usein noin  $8 \cdot s$ .”

(Aaltonen ym. 1997, 57.)

## 2.2.2 Takaisinjousto ja taivutusvirheet

Tämän luvun kuvaus takaisinjoustosta ja taivutusvirheistä perustuu Aaltonen ym. pohdintoihin. (1997, 59.) Takaisinjouston suuruusluokka vapaa-  
taivutuksessa on muutamia asteita. Sen voi ennustaa likimääräisesti, mutta ei tarkasti. Pohjataivutuksessa takaisinjousto on vapaataivutusta pienempi. Takaisinjousto on eri materiaaleilla erisuuruinen ja saattaa vaihdella samaa materiaalia olevissa levyissä. Standardit määrittelevät levyn minimilujuuden, mutta levy voi olla sitä lujempaa.

Takaisinjousto on vaikea hallita tarkasti. Tarkan tuloksen saamiseksi taivutetaan usein koepala, jonka perusteella pystytään korjaamaan mahdollinen kulmaan tullut mittavirhe.

Särmäyspuristimiin on kehitetty erilaisia taivutuskulman mittausrakenteita. Mittaus pystytään tuottamaan muun muassa siten, että koneeseen asennettu anturi, laser tms. mittaa kulmaa ja mittaustuloksen perusteella jatketaan taivutusta tavoitekulmaan.

Taivutuskulman suuruuteen ja geometriseen muotoon vaikuttaa useita eri tekijöitä. Näistä mainittakoon valmistustoleranssien mukainen vaihtelu sekä särmäyspuristimen ja sen työkalujen kunto. Takaisinjouston ja taivutusvirheiden yhteisvaikutus joko huonontaa kappaleen ulkonäköä tai jopa pilaa sen kokonaan.

”Esimerkiksi 0,75 mm paksuisen levyn standardin mukaiset toleranssit  $\pm 0,07$  mm aiheuttavat ääriarjoillaan  $90^\circ$ :n taivutuskulmaan noin  $\pm 1,5^\circ$ :n virheen. DIN 6935 antaa taivutuksen kulmatoleransseiksi lyhyemmän taivutettavan kyljen pituudesta riippuen  $\pm 1 \dots \pm 2^\circ$ , joka pätee suhteeseen  $r/s = 4$  saakka.”

## 2.2.3 Pintavaurioiden estäminen särmätyksessä

Levyn pintaan syntyy herkästi pintanaarmuja. Nämä eivät tietenkään ole toivottuja, joten levy kannattaa suojata särmätyksessä. Keinoja vaurioiden ehkäisemiseksi tai ainakin vähentämiseksi ovat mm.

- työkalujen kiillotus
- valitsemalla työkaluiksi pehmeitä materiaaleja, esim. pronssi tai muovi
- voitelemalla työkalu tai levyn taivutettava kohta
- työkalujen ja taivutettavan kohdan teippaus tai muu päällystys (Aaltonen ym. 1997, 62.)

## 3 ROBOTIIKKA

”Teollisuusrobotti on ohjelmoitava monitoimilaitte, joka on suunniteltu sekä käsittelemään että kuljettamaan osia tai työkaluja ja tarkoitettu muunneltavine, ohjelmoitavine ratoineen erilaisiin tuotantotehtäviin.” (Aaltonen & Torvinen 1997, 138.)

Standardi SFS-EN ISO 10218-1:2011 määrittelee teollisuusrobotin seuraavasti:

”Teollisuusrobotti on teollisuuden automaatiosovelluksissa käytettäväksi tarkoitettu automaattisesti ohjattu, uudelleen ohjelmoitavissa oleva monikäyttöinen käsittelylaite, jonka akseleista vähintään kolme on ohjelmoitavissa ja joka voi olla kiinteästi asennettu tai liikkuva.”

### 3.1.1 Robottiikan kehitys

Robottien kaupallinen suunnittelu ja valmistus alkoi 1960-luvulla. 1970-luvulla robotit alkoivat yleistymään teollisuuskäytössä. Tällöin niiden ohjelmointi yksinkertaistui ja nopeutui, sekä luotettavuus parani. 1980-luvulla alkoi robottien älykkyys- ja aistitietojen hyödyntäminen. 1990-luvulla robottien nopeus ja tarkkuus paranivat huomattavasti. Samalla vuosikymmenellä kehittyivät myös robottien etäohjelmointi sekä liitännät ulkopuolisiin järjestelmiin. Nämä ominaisuudet mahdollistivat muun muassa robotisoidun särmäyksen, kun käyttäjä pystyi ohjelmoimaan sekä robotin, että NC-ohjatun särmäyskoneen tietokoneelta. (Aaltonen & Torvinen 1997, 139.)

2000- ja 2010-luvuilla robottien tarkkuus ja energiatehokkuus ovat parantuneet, mutta suurimpana tekijä robotiikan muutoksessa ovat olleen tietotekniikka ja internet. Yhden robottiohjaimen alaisuuteen saadaan useampia robotteja, joiden toiminnot voidaan synkronoida. Ohjelmia voidaan myös ajaa rinnakkain. Viime vuosina ovat yleistyneet myös erilaiset etäpalvelut, robottia pystyy valvomaan ja ajamaan vaikka työpaikan ulkopuolelta, jos robottisolussa vain on fyysisesti kaikki kunnossa. (Ponkkinen 2017.)

### 3.2 Robottien rakennetyypit

- nivelvarsirobotti
- portaalirobotti (XYZ-koordinaatisto)
- Scararobotti (Selective compliant assembly robot arm)
- rinnakkaisrakenteinen robotti.

Olipa robotin rakennetyyppi mikä tahansa, se koostuu samoista ominaisuuksista, eli ohjausjärjestelmästä, tarttujista tai käsittelylaitteista, tunnistimista sekä antureista, jotka voivat olla joko mekaanisia tai digitaalisia, sekä käyttöliittymästä. Tarttujien ja käsittelylaitteiden, sekä tunnistimien ja antureiden ei välttämättä tarvitse olla itse robottivalmistajan valmistamia, vaan niitä löytyy myös muilta toimijoilta. Etenkin tarttumat valitaan usein tiettyjen kappaleiden käsittelyyn, joten ne voi tilata tarrainvalmistajalta, tai jopa ostaa tarvittavat komponentit erikseen ja koota sopiva tarrain käyttökohteeseen. (Ponkkinen 2017.)

Robotin liikkeet toteutetaan servomoottoreilla, josta voima välitetään ohjattaville luisteille ja nivelille hammaspyörien, hammashihnojen ja työntö-tankojen välityksellä. Anturit mittaavat robotin liikkeitä, josta saadaan paikkatieto ohjausjärjestelmälle. Antureilla voidaan mitata myös esimerkiksi käsiteltävän kappaleen asemaa. (Ponkkonen 2017.)

### 3.2.1 Nivelvarsirobotti

Nivelvarsirobotissa vapausasteet ovat kiertyviä. Siinä on vähintään kuusi niveltä, joten sillä on hyvä liikkuvuus. Toiminta-alue ja ulottuvuus on yleisesti hyvä, vaikkakin käsiteltävän kappaleen tai käsittelylaitteen paino saattaa sitä rajoittaa. Nivelvarsirobotin kuormankantokyky vaihtelee muutamasta kilosta tuhansiin kiloihin. Mitoitettaessa nivelvarsirobottia, tulee ulottuvuuden ja kappaleenkäsittelykyvyn lisäksi ottaa huomioon robotin ranteen paksuus. Ranteen inertia ei saa olla liian hidas, jotta robotin toiminta olisi tuottavaa. (Ponkkonen 2017.)

Kuvassa 3 on esitettyä ABB:n nivelvarsirobotti.



Kuva 3 (ABB Oy 2017 )

### 3.2.2 Portaalirobotti

XYZ-robotti on logistiikassa ja kappaleenkäsittelyssä, sekä esimerkiksi NC-koneen panostustehtävissä käytettävä robotti. Se on rakenteeltaan tuettu palkeilla työalueen reunoista. Robottiyksikössä voi olla tarttuja, työkalu tai jokin muu materiaalinkäsittelylaite. (Ponkkonen 2017.)

Kuvassa 4 on esitelty portaalirobotti osana pakkausjärjestelmää.



Kuva 4 (Cimcorp Oy 2017)

### 3.2.3 Scara

Scara, eli "Selective compliant assembly robot arm" on nimensä mukaisesti kokoonpanoon suunniteltu robotti. Robotin käsivarsi on Z-suunnassa jäykkä, mutta liikkuu XY-suunnassa. Ainoastaan robotin ranne, missä on joko tarttuja tai työkalu, liikkuu Z-suunnassa. Scara-robottia voi käsiteltävän kappaleen painon salliessa ajaa suurella nopeudella. Kyseinen robotti on varsin suosittu etenkin elektroniikkateollisuudessa. (Ponkkonen 2017.)

Kuvassa 5 on esitelty ABB:n scararobotti.



Kuva 5 (ABB Oy 2017)

### 3.2.4 Rinnakkaisrakenteinen robotti

Rinnakkaisrakenteisessa robotissa on vapausasteita kytketty rinnakkain. Tämä mahdollistaa sen, että sillä pystytään käsittelemään painavia kuormia suurilla nopeuksilla. Varjopuolena rinnakkaisrakenteessa on pienentynyt ulottuvuus. Robotteja saadaan muutettua erilaisiksi muuttamalla vapausasteiden liikematkoja sekä kytkemällä vapausasteita eri tavoilla yhteen. Rinnakkaisrakennetta alettiin kehittämään vasta 1990-luvulla ja se on yleistynyt suuresti 2000-luvulla sen keveyden ja suurten voimien ansiosta. (Ponkkonen 2017.)

Kuvassa 6 on esitetty ABB:n rinnakkaisrakenteinen robotti.



Kuva 6 (ABB Oy 2017)

### 3.3 Robottien käyttösovelluksia

Robotisoinnin tulee olla taloudellisesti kannattavaa. Sitä voidaan soveltaa työstettäessä pitkiä sarjoja ja silloin, kun työltä vaaditaan suurta tarkkuutta. Robotisointia voidaan hyödyntää, kun työ on erityisen raskasta, tai silloin, kun työskennellään vaarallisissa olosuhteissa.

Robotisoinnin käyttökohteita:

- hitsaus
- kappaleenkäsittely
- koneiden panostus
- pintakäsittely
- laadunvalvonta
- kokoonpano
- pakkaus, palletointi
- särmäys.

Erilaiset käyttökohteet vaativat robotilta erilaisia ominaisuuksia. Yksinkertaiset työt, kuten kappaleiden asemointi, onnistuvat portaalirobotilla. Monimutkaisemmat liikeradat, kuten maalaus tai kaarihitsaus, vaativat nivelvarsirobotin ja ohjattavat ulkoiset akselit. (Aaltonen & Torvinen, 1997, 155- 156; Ponkkonen 2017.)

### 3.4 Robotin ohjelmointimenetelmät

- ohjelmointi opettamalla (online-ohjelmointi)
- ohjelmointi johdattamalla
- parametrinen ohjelmointi
- offline-ohjelmointi (simulointi)
- robottikohtaiset ohjelmointikielet.

(Ponkkonen 2017.)

#### 3.4.1 Ohjelmointi opettamalla

Robotin työkalu viedään manuaalisesti haluttuun asemaan ja tallennetaan se muistiin. Tämä asema voi olla esimerkiksi paikka, missä robotti tarttuu kappaleeseen tai aloittaa hitsaamisen. Vastaavasti määritellään myös pisteet, missä robotti irrottaa kappaleen tai lopettaa hitsaamisen. Kyseiset liikkeet voidaan toteuttaa toisellakin työkalulla, kunhan uuden työkalun työkalukompensointi on käytössä. (Ponkkonen 2017.)

#### 3.4.2 Ohjelmointi johdattamalla

Työkalun liikeradat tuotetaan manuaalisesti ja nauhoitetaan instrumenttinauhurilla, johon nivelten paikka-antureiden kulmapisteet tallentuvat. Ohjelmaa toistettaessa nauhuri yhdistetään nivelten toimilaitteiden ohjauspii-

rin ohjearvoksi. Valmiin ohjelman editointi jälkikäteen on hankalaa, koska ohjelma itsessään on yhtä ja samaa käskyä, kun taas muilla menetelmillä pystytään ohjelma pilkkomaan osiin ja muuttamaan vaikka vain yhtä liikkettä halutulla tavalla. (Ponkkonen 2017.)

### 3.4.3 Offline-ohjelmointi eli etäohjelmointi

Offline-ohjelmoinnilla tarkoitetaan robotin ohjelmointia tietokoneella, joka käyttää 3D mallinnusohjelmaa, robotin ja sen oheislaitteiden simuloimismalleja sekä hyödyntää valmistettavan tuotteen geometriatietoja. Tällaisia ohjelmia ovat esimerkiksi ABB Robotstudio. Tietokoneen ja robotin ei tarvitse ohjelmoinnin aikana olla millään tavalla yhteydessä, joten robotilla voi työstää muuta sarjaa koko ohjelmoinnin ajan. Haastavaa offline-ohjelmoinnista tekee osavalmistustarkkuus ja paikoitukset. Virtuaalimallin ja todellisen robottiympäristön on vastattava millintarkasti toisiaan, jotta lopputulos on halutunlainen. (Ponkkonen 2017.)

Yksi esimerkkiohjelmisto etäohjelmointiin on Robosoftin PartManager. Ohjelma tunnistaa esimerkiksi DXF- tai IGES-muodossa olevat mallit särmättävistä kappaleista ja näin ollen tiedostaa niiden mitat sekä särmättävien kulmien suuruudet ja säteet. Mallin perusteella PartManager tekee kappaleelle ohjelman sekä ehdottaa käytettävät työkalut. PartManager on nimenomaan särmäykseen käytettävä ohjelma, mutta on myös yhteensopiva robottien ohjelmistojen kanssa, jolloin se pystyy luomaan ohjelman koko työkierrolle siitä hetkestä, kun robotti tarttuu särmättävään kappaleeseen ja nostaa sen lavalta, siihen hetkeen kun se asettaa valmiin kappaleen toiselle lavalle. (Robosoft, 2017.)

### 3.4.4 Parametrinen ohjelmointi

Parametrinen ohjelma kannattaa silloin, kun valmistetaan esimerkiksi paljon samankaltaisia kappaleita, mutta niissä saattaa olla pieniä eroja. Ensimmäisen tehdään pääohjelma ja sen jälkeen voidaan ohjelmoida parametreiksi niin sanottuja aliohjelmia. Aliohjelmissa voi olla pieniä muutoksia pääohjelmaan nähden missä vaiheessa tahansa. (Ponkkonen 2017.)

### 3.4.5 Koordinaatistot

Robottiikassa on neljä koordinaatistoa: maailmankoordinaatisto, robottikoordinaatisto, käyttäjäkoordinaatisto sekä työkalukoordinaatisto. Maailmankoordinaatiston paikka on määritetty kiinteäksi ja se toimii referenssipisteinä käyttäjäkoordinaatistolle. Robottikoordinaatistossa tapahtuu robotin liikeratojen määrittäminen. Työkalukoordinaatistossa on määritelty työkalupiste. Työkalupiste opetetaan robotille tai annetaan paikka- ja suuntakulmat työkalun fyysisten mittojen avulla. Mitat annetaan suhteessa robotin ranteen laippaan. Robotin akseli-ohjausjärjestelmän tehtävänä on hallita työkalun asemaa ja nopeutta ohjearvojen mukaisesti. Interpolaattori laskee lähtöaseman ja kohdeaseman välille välipaikoituspisteet. Liike voi olla jo-



ko lineaarista tai ympyränkaariliikettä. Työkalun asento muuttuu tasaisesti paikoituspisteiden välillä. (Ponkkonen 2017.)

### 3.5 Vaatimuksia robotille

Vaatimuksia robotille on muun muassa seuraavat tekijät:

- käsiteltävän kuorman suuruus
- ulottuvuus
- toistotarkkuus
- nopeus
- liittynät ulkoisiin järjestelmiin
- huoltoväli.

Robotin käyttökohde määrittää käsiteltävän kuorman suuruuden sekä ulottuvuuden. Robottia mitoitettaessa tulee huomioda, että tarttujan tai työkalun paino on osa käsiteltävän kuorman suuruutta, käsiteltävän kappaleen ohessa. Liittynät ulkoisiin järjestelmiin saattavat vaatia niin sanotun ohjelmointikortin, jotta järjestelmät ymmärtävät toisiaan. Tämä tuo lisäkustannuksia robottia hankittaessa. (Ponkkonen 2017.)

### 3.6 Tarraimet

Tartuntatapojen tunteminen on olennaista valittaessa tarrainta. Tartuntatavat voidaan jakaa kolmeen ryhmään sen mukaan, miten tarraimen vaikuttaa käsiteltävään kappaleeseen. Nämä ryhmät ovat kitkasulkeinen tartunta, muotosulkeinen tartunta sekä vetovoimaan perustuva tartunta. (Kuivanen 1999, 67-68.)

Kitkasulkeisessa tartunnassa kappaleeseen vaikuttaa suora mekaaninen voima kahdesta tai useammasta suunnasta. Käsiteltävän kappaleen ja tarraimen väliin syntyy kitkavoima. Kitkavoimaan vaikuttavat kappaleen ja tarraimen välinen kitkakerroin sekä puristusvoima. Kitkavoiman on oltava suurempi gravitaatiosta sekä robotin liikkeistä syntyvät voimat, jotta käsiteltävä kappale pysyy tarttujan leukojen tai kynsien välissä halutulla tavalla. (Kuivanen 1999, 68.)

Muotosulkeisessa tartunnassa käytetään hyväksi kappaleen muotoja riittävän tartuntavoiman aikaansaamiseksi. Käyttämällä kappaleen muotoja, ei tarvita yhtä suuria puristusvoimia, kuin kitkasulkeisessa tartunnassa. Näin voidaan helpommin käsitellä esimerkiksi hauraita kappaleita. Riittävän voiman aikaansaamiseksi voidaan tarttujan leukoihin lisätä esimerkiksi kumia, jolloin kitkakerroin kasvaa. (Kuivanen 1999, 67-68.)

Vetovoimaan perustuvat tartunnat voidaan jakaa sähköiseen ja magneettiseen vetovoimaan sekä imu- ja tyhjiövoimiin. Sähköstä vetovoimaa voidaan käyttää toki niin sähköä johtaville, kuin johtamattomillekin pinnoille, mutta sen käyttö rajoittuu kuitenkin kevyisiin kappaleisiin. Magneettiseen vetovoimaan perustuvia tarraimia voidaan hyödyntää nosteltaessa raskaitakin kappaleita, mutta niiden käyttö rajoittuu magneettisiin materiaaleihin, kuten rauta ja nikkeli. Imu- ja tyhjiötartunnalla saavutetaan myös suu-

ria voimia ja magneettitarraimista eroten voidaan käyttää lähes kaikille materiaaleille. Rajoituksena ovat tarkat pinnanlaadun vaatimukset. (Monkman, Hesse, Steinman, Schunk 2007, 61.)

### 3.7 Tarraintyypit

Tässä työssä keskitytään kolmeen tarraintyypiin; mekaanisiin tarraimiin, magneettitarraimiin sekä imu- ja tyhjiötarraimiin. Useilta robottivalmistajilta löytyy valikoima erityyppisiä vakiotarraitia. Sen lisäksi on useita tarrainvalmistajia, joilta löytyy vakiomalleja, mutta jotka myös suunnittelevat ja valmistavat erikoisempiakin tarraitia kuhunkin käyttökohteeseen. Tässä työssä tarkastellaan eri tarraitia niiden soveltuvuuden kannalta komponenttien käsittelyyn. ProLaser Oy:ssä särmättävät komponentit ovat usein erimuotoisia ja -kokoisia, sekä niissä saattaa olla erikokoisia reikiä, mikä tuo omat vaikeudet niiden käsittelemiseen.

#### 3.7.1 Mekaaniset tarraimet

Mekaaniset tarraimet koostuvat toimilaitteesta, mekanismista sekä sormista tai kynsistä. Yleisimmät mekanismit ovat nivelmekanismit, hammaspyörä ja hammastanko-sovellukset, ruuvimekanismit sekä vaijeriväkipyörämekanismit. Mekaanisissa tarraimissa voi olla erilainen puristusvoima toimilaitteesta ja mekanismista riippuen. Päällystämällä kynnet tai sormet esimerkiksi kumilla, lisätään kappaleen ja tarttujan välistä kitkaa. Päällästäminen ehkäisee myös käsiteltävän kappaleen naarmuuntumista. (Kuivanen 1999, 60-63.)

Mekaanisen tarraimen etuihin kuuluu se, että sillä pystyy käsittelemään lähes mitä tahansa kiinteää materiaalia. Kevyitä ja pieniä kappaleita käsiteltäessä, ei ole olennaista, mistä kohtaa se tarttuu kiinni. Sen ei tarvitse välttämättä tarttua kiinni esimerkiksi painopisteestä.

Haittapuolena mekaanisilla tarraimilla on se, että niillä ei pystytä käsittelemään esimerkiksi suurikokoisia levyjä. Nostettaessa levyä sen reunasta, se saattaa taittua omasta painostaan. Mekaaniset tarraimet saattavat myös naarmuttaa käsiteltävää kappaletta. Sen lisäksi kappaleet pitää asetella pinnon siten, että tarrain pystyy ottamaan levyn reunasta kiinni. Tämä saattaa aiheuttaa ongelmaa tilan kanssa.

Kuvassa 7 on esitelty mekaaninen tarrain, jolla pystyy nostamaan esimerkiksi pyöreitä kappaleita.



Kuva 7 (Finnrobotics Oy 2017)

### 3.7.2 Magneettitarraimet

Magneeteilla voidaan saavuttaa suuria nostovoimia, mutta nostovoimien suuruus riippuu monesta asiasta, kuten kappaleen materiaalista, muodosta ja pinnanlaadusta. Kaikki epäpuhtaudet käsiteltävän kappaleen pinnalla heikentävät nostovoimaa. Kestomagneettia käytettäessä tarvitaan erillinen irrotuslaite. Sähkö- tai pneumaattisesti ohjattava magneetti ei vaadi erillistä irrotuslaitetta, mutta sähkömagneetin lämpeneminen asettaa rajoituksia työkierrolle. (Kuivanen 1999, 64.)

Magneetin etu on se, että sopivan magneetin löydyttyä, sitä voidaan hyödyntää useiden eri kappaleiden käsittelyyn. Käsiteltävistä kappaleista pitää vain löytää niiden painopiste, jotta ne eivät putoa tai muuta asentoa niitä käsiteltäessä.

Ongelmana magneeteissa on se, että käsiteltävien kappaleiden pitää olla puhtaita. Käsiteltävät levyt tulevat tuotannossa särmättäväksi joko laser- tai vesileikkauksesta, jolloin levyjen pinnoille saattaa päätyä epäpuhtauksia tai vettä, joka aiheuttaa sen, että magneetti ei välttämättä saa kiinni levystä kunnolla, tai sen, että pinossa olevat levyt tarttuvat toisiinsa kiinni. Yksi ratkaisu tähän on erään robottitoimittajan ehdotus, että robottiin asennetaan harja, joka pyyhkäisee kappaleen pinnan puhtaaksi tartuntakohdasta ja tämän jälkeen robotti nostaa levyn pinosta pienessä sivuttaiskulmassa, jolloin mahdollisesti kiinnijäänyt alempi levy putoaa takaisin pinoon.

Toinen haittapuoli magneettitarraimissa on se, että tarraainvalmistajien ilmoittamat käsiteltävien kappaleiden minimipaksuudet ovat usein enemmän kuin tuotannossa käsiteltävät ohutlevyt. Liian ohuessa kappaleessa ei ole tarpeeksi magneettista pintaa, jotta magneetti tarttuisi siihen. Tämän lisäksi liian vahva magneetti saattaa nostaa pinosta enemmän, kuin yhden levyn kerrallaan. Levyjä voidaan kuitenkin särmätä vain yksi kerrallaan. Kuvassa 8 on esimerkki paineilmasäätöisestä magneettitarttujasta.



Kuva 8 (Ixtur 2017)

### 3.7.3 Alipainetarraitimet

Alipainetarraitimia voidaan käyttää kohteissa, joissa mekaanisten tarraimien käyttö on vaikeaa, kuten esimerkiksi suurten ohutlevyjen käsittelyssä, tai joissa magneettitarraimen käyttö on mahdotonta, esimerkiksi austeniittista ruostumatonta terästä käsiteltäessä. Imukupit vaativat toimiakseen riittävän puhtaan, tasaisen tiiviin pinnan. Imuvoiman kasvattaminen alipainetarraitimissa on helppoa, sillä imuvoima on paine-eron ja imupinta-alan tulo. Alipainetarraitimet ovat yksinkertaisia ja luotettavia ja käyttämällä kumisia tai muovisia imukuppeja, estetään käsiteltävän kappaleen naarmuuntuminen. Mikäli yksikin imukuppi irtoaa käsiteltävän kappaleen pinnasta, koko kappale tippuu tarraimesta, mikäli käytössä ei ole varolaitetta. (Kuiivanen 1999, 63-64.)

”Imukupin kiinnitysvoima lasketaan kaavalla

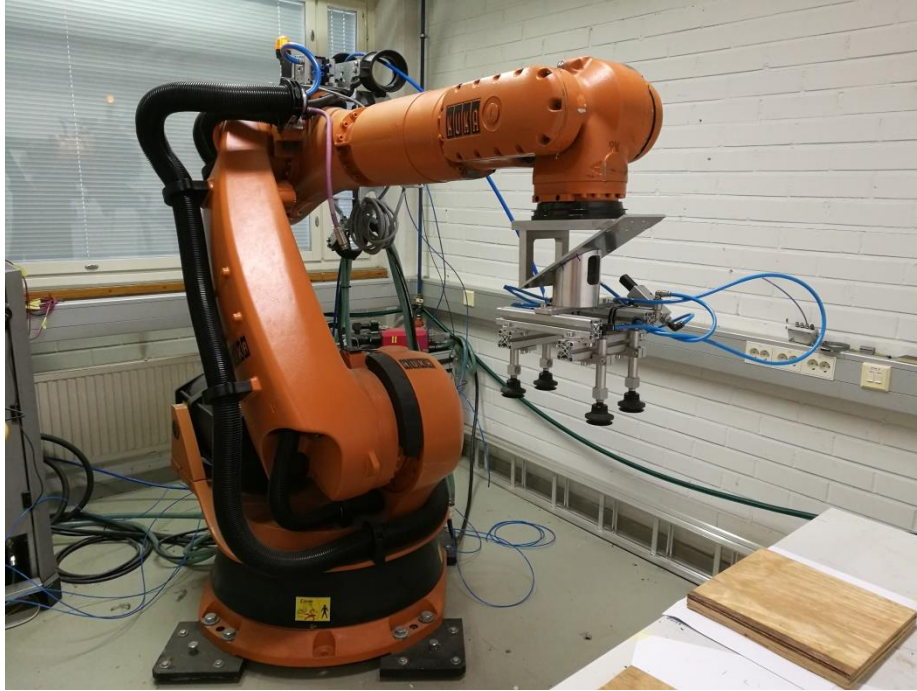
$$F = p_a \cdot A \quad (3)$$

missä  $F$ = imukupin kiinnitysvoima  
 $p_a$ = imukupin alipaine  
 $A$ = imukupin pinta-ala

Tulee muistaa, että alipaine on alle 1 bar. Jos imukuppeja on useita, tulee voima jakaa niiden kesken. Laskennassa on syytä käyttää varmuuskerrointa (yleensä 2).(Ellman, Hautanen, Järvinen & Simpura 2002, 158.)

Haittapuolena alipainetarraitimissa on se, että käsiteltävän pinnan tulee olla puhdas. Toinen haittapuoli tämän työn kannalta on se, että komponenttien erilaisten muotojen, koon ja reikien takia tarraitimia pitää olla useita. Joskaan niiden yksinkertaisen rakenteen vuoksi niiden itse rakentaminen ei ole vaikeaa eikä kallista. Alipainetarraitimien runko rakennetaan usein

muovista tai alumiinista niiden keveyden vuoksi. Muutkin osat erikokoisina ja -mallisina ovat yleisiä ja alan liikkeessä hyllytavaraa, joten osien ostaminen on helppoa. On toki olemassa alipainetarraimiin erikoistuneita valmistajia, jotka valmistavat ja räätälöivät tarraimia vaikeimpiinkin käyttökohteisiin. Yleisesti alipainetarraitimet sopivat hyvin ohutlevyjen käsittelyyn niiden muunneltavuuden ansiosta. Kuvassa 9 esimerkki alipainetarttujasta kiinnitettynä KUKA-robottiin.



Kuva 9 (Juuso Ylönen 2017)

### 3.8 Työkalun vaihtaja

Seuraava luku perustuu eri robottitoimittajilta saatuihin tietoihin. Robotteihin saa työkalun vaihtajan, tähän opinnäytetyöhön liittyen tarraimen vaihtajan. Työkalun vaihtaja on robotin ranteeseen kiinnitettävä väline, jonka avulla varsinaisen työkalun saa vaihdettu muutamissa sekunneissa. Robotti pystyy tällöin vaihtamaan itse työkalun, vaihtokäskyn saatuaan. Työkalu pitää asettaa oikealle kohdalle esimerkiksi hyllyyn, jonka koordinaatit tietämällä robotti pystyy viemään vanhan työkalun paikalleen ja vaihtamaan uuden tilalle. Ilman työkalun vaihtajaa työntekijä joutuu vaihtamaan työkalun itse. Työkalun vaihtoon saattaa mennä jopa 10-15 minuuttia ja tämä kun toistuu useita kertoja päivässä, menee paljon aikaa hukkaan niin sanotusti oikeasta työstä. Työkalun vaihtaja on erittäin hyödyllinen lisäväline silloin, kun työkalun joutuu vaihtamaan usein.

### 3.9 Robotin aistit

Robottitoimittajilta saatujen tietojen perusteella robotteihin on tarjolla erilaisia laitteita, joiden avulla robotti pystyy tehostamaan ja turvallistamaan työskentelyään. Tällaisia ovat muun muassa tunnistimet, joiden avulla robotti pystyy estämään sen, ettei se törmää esimerkiksi kuormalavaan, joka

on jätetty erehdyksessä väärään paikkaan robottisolussa. Yksi tuotantoa helpottava aisti on robotin niin sanottu konenäkö. Konenäkö tunnistaa esimerkiksi pinon päällä olevan levyn ja näin ollen se pystyy tarttumaan kiinni oikeasta kohdasta. Tämä helpottaa myös työntekijää, sillä konenäön avulla ohutlevyjä ei tarvitse pinota enää millintarkasti oikeaan kohtaan kuormalavalla, koska robotti pystyy itse hakemaan oikean nostopisteen.

### 3.10 Robottien turvallisuus & standardit

Robottijärjestelmien turvallisuus on tarkoin määritelty standardissa SFS-EN ISO 10218-1:2011, sekä muissa standardeissa, joihin edellä mainittu standardi viittaa. Tässä työssä tarjoukset on pyydetty ”avaimet käteen” periaatteella, eli laitetoimittaja vastaa standardien noudattamisesta sekä CE-merkinnästä. Seuraavaksi kuitenkin muutama olennainen turvallisuusasia:

”Toisen ja kolmannen akselin (akselit, joiden siirtymisliike on toiseksi ja kolmanneksi suurin) liikkeiden rajoittamisen on oltava mahdollista säädettävillä mekaanisilla tai muilla kuin mekaanisilla rajoittimilla. Mekaanisten pysäyttimien on pystyttävä pysäyttämään nimelliskuormalla kuormattu robotti sen liikkeessä suurimmalla nopeudellaan ja sen ollessa uloimmassa ja sisimmässä asennossaan. Mekaanisten pysäyttimien testaaminen on tehtävä ilman mitään avustavia pysäytyksiä”  
(SFS-EN ISO 10218-1/2011, 38.)

”Robotin on ylläpidettävä määritettyä nopeutta ja vähimmäisetäisyyttä käyttäjästä. Nämä toiminnot voidaan toteuttaa kiinteillä osilla tai ulkoisten sisääntulojen yhdistelmällä.”  
(SFS-EN ISO 10218-1/2011, 34.)

Nämä kaksi esimerkkiä voidaan toteuttaa esimerkiksi siten, että robotti työskentelee suljetussa solussa. Solu on aidattu ja sisään pääsee vain aukaisemalla oven tai kulkemalla valoverhon läpi. Kun ovi aukeaa tai valoverho katkeaa, robotin mekaaninen pysäytin pysäyttää robotin. Robotti voi jatkaa liikettään vasta sitten, kun se on vapautettu aidan ulkopuolella olevasta painikkeesta.

## 4 ROBOTISÄRMÄYKSESSÄ HUOMIOITAVAT ASIAT

Seuraavat tiedot perustuvat laitetoimittajilta saatuihin tietoihin. Robotin ja särmäyskoneen välissä tulee olla I/O-liityntäkortti, jotta ne pystyvät lukemaan toisiaan ja toimimaan yhdessä. Tämä kortti voi olla särmäyskoneessa jo valmiiksi, tai sitten se pitää laitevalmistajalta ostaa. Särmäyssolussa tulee olla vähintään kaksi määritettyä lavapaikkaa, toinen särmättäville kappaleille ja toinen valmiille kappaleille. Särmäyskoneessa tulee olla takavasteanturit, jotka ilmoittavat robotille käsiteltävän kappaleen olevan oikeassa asemassa. Takavasteet voivat olla joko mekaanisia tai sähköisiä.

Särmäyssolussa tulee olla paikoitusasema. Yksinkertaisin ratkaisu on painovoimaan perustuva asema, jossa käsiteltävä kappale liukuu vinossa teli-

neessä oikeaan asentoon. Robotti ottaa näin ollen oikeasta kohdasta kiinni, ennen kuin vie kappaleen särmäyskoneen työkalujen väliin.

## 5 LÄHTÖTIEDOT TARJOUSPYYNNÖILLE

ProLaserilla on käytössään kaksi särmäyskonetta, Amada 2204, jonka särmäyspituus on maksimissaan 4 metriä, sekä Amada 5020, jonka särmäyspituus on maksimissaan 2 metriä. Työn alkuperäisenä tarkoituksena oli löytää sopiva robotti pienemmän särmäyskoneen, eli 5020:n yhteyteen. Työn edetessä kuitenkin todettiin, että kasvaneen tilauskannan johdosta toinen vaihtoehto tälle voisi olla kokonaan uusi särmäyskone, jonka yhteyteen robotti liitettäisiin.

Työn ensimmäinen vaihe oli selvittää, miltä firmoilta tarjousta tulisi pyytää. Päädyimme ProLaserin edustajan kanssa siihen tulokseen, että pyydetään tarjoukset tunnetuimpien robottimerkkien toimittajilta. Toivomuksena oli saada robotti niin sanotusti ”avaimet käteen”-periaatteella, eli laitetoimittaja luovuttaa valmiin ja asennetun paketin, jossa on huomioitu standardien määrittämät turvallisuustekijät. Lähtötietoina toimittajat tarvitsivat suurimpien käsiteltävien kappaleiden äärimitat ja massan, sekä särmäyskoneen mallin. Kahdelle toimittajalle, joilta pyydettiin pakettihinta särmäyskoneelle ja robotille, lähetettiin esitietoina vain suurimpien käsiteltävien kappaleiden mitat ja massat.

Kuten jo aiemmin on mainittu, robotteja ei voi liittää kyseiseen särmäyskoneeseen ilman, että niiden välissä on Amadan I/O-liityntäkortti, eli niin sanottu robottikortti. Kyseisen kortin hinta lisätään jokaiseen tarjoukseen, mikä ei sisällä uutta särmäyskonetta.

### 5.1 Tarjoukset

Jotta mikään laitetoimittaja ei saisi etulyöntiasemaa tästä työstä, nimetään ne numeron mukaan siinä järjestyksessä, kun he ovat tarjouspyyntöihin vastanneet. Tarjoukset erosivat toisistaan melko paljon niin hinnan, kuin tarjouksen sisällön puolesta. Kaikki toimittajat tarjosivat nivelvarsirobotia.

Laitetoimittajien mukaan särmäysrobotti kannattaa mitoittaa siten, että suurimman käsiteltävän kappaleen massa kerrotaan kahdella, koska paineilmatarrain voi painaa suurin piirtein saman verran, kuin käsiteltävä kappale. Näin ollen tätä työtä ajatellen robotin kantavuus on vähintään 30 kg, sillä suurin käsiteltävä kappale painaa n. 15 kg. Tämän lisäksi laitetoimittajat ovat laskeneet robotin ranteen inertiaat, joka määrittää robotin liikenopeudet. Näiden kahden tekijän perusteella he ovat valinneet tarjoukseen oikeanlaiset robotit.

Firma 1:n tarjous sisältää 30 kg:n käsittelykyvyn omaavan robotin avaimet käteen - periaatteella. Asiakkaan vastuulle jää I/O kortin tilaus sekä kiinteistöön liittyvät muutokset (lattian kantavuus, paineilmaliihtännät jne.). Yhteishinta I/O-kortin kanssa 94 085 € alv 0 %. Hintaa ei sisälly kahden

päivän koulutus 1040 € + matkakulut. Takuu robotille 24 kk, muille komponenteille 12 kk.

Firma 2:n tarjous sisältää 40 kg:n käsittelykyvyn omaavan robotin, jalustan sekä työkalunvaihtoyksikön asennettuna. Tarjous kuitenkin edellyttää asiakasta vastaamaan kaikista antureista ja paikoituksista sekä turvallisuuskomponenteista. Yhteenlaskettu hinta I/O-kortin kanssa 106 400 € alv 0 %. Hinta sisältää yhden päivän koulutuksen. Takuuajasta ei mainintaa.

Firma 3:n tarjous sisältää 50 kg:n käsittelykyvyn omaavan robotin avaimet käteen - periaatteella. Asiakas vastaa I/O kortin hankinnasta, sekä kiinteistöön liittyvistä asioista. Yhteenlaskettu hinta I/O-kortin kanssa 81 200 € alv 0 %. Tarjous sisältää yhteensä 3+2 päivän koulutuksen. 3 päivää toimittajan tiloissa sekä 2 päivää asiakkaan tiloissa. Takuu 12 kk tai vähintään 2 vuoden huoltosopimuksen yhteydessä takuu 24 kk.

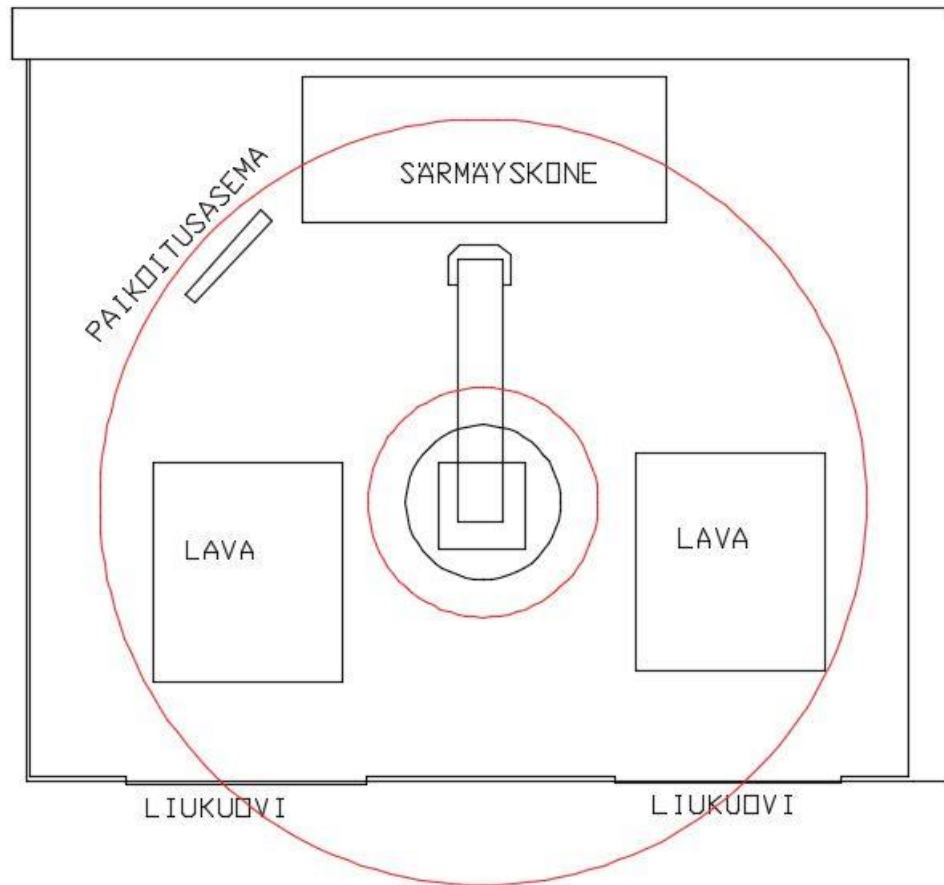
Firma 4:n tarjous sisältää särmäyskoneen sekä robotin avaimet käteen - periaatteella. Asiakas vastaa kiinteistöön liittyvistä asioista. Hinta koko paketille 123 000 € alv 0 %. Hintaan sisältyy 3 päivän koulutus. Takuu 12 kk.

Firma 5:n tarjous sisältää 50 kg:n käsittelykyvyn omaavan robotin avaimet käteen - periaatteella. Asiakas vastaa I/O-kortista sekä kiinteistöön liittyvistä asioista. Yhteenlaskettu hinta I/O-kortin kanssa 108 600 €. Sisältää 3 päivän koulutuksen. Takuu 12 kk.

Firma 6:n tarjous sisältää 20 kg:n käsittelykyvyn omaavan robotin sekä särmäyskoneen avaimet käteen - periaatteella. Asiakas vastaa kiinteistöön liittyvistä asioista. Paketin hinta 550 000 € alv 0 %. Sisältää 5 päivän koulutuksen. Takuu 12 kk.

Kuvassa 10 esitetään laitetoimittajien lähettämiin kuviin perustuva pohjapiirros robottisärmäyssolusta. Solussa on nivelvarsirobotti, ohutlevyjen paikoitusasema, särmäyskone sekä kaksi lavapaikkaa, särmättäville sekä särmätyille kappaleille. Kuva ei ole mittakaavassa.





Kuva 10 (Juuso Ylönen 2017)

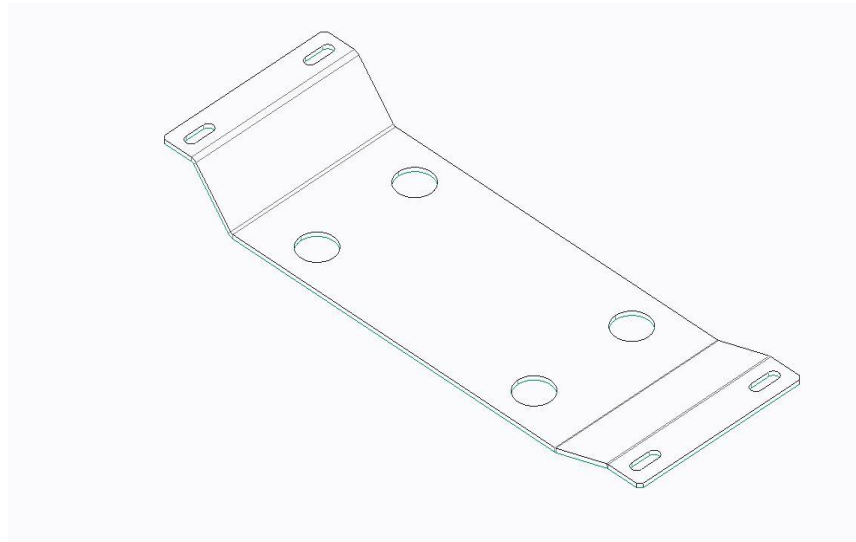
## 6 SÄRMÄTTÄVÄT KAPPALEET

Kuten on jo aiemmin todettu, robotin avulla olisi tarkoitus särmätä pieni-kokoisia kappaleita, joiden tilausmäärät ovat suuria. Kappaleet ovat eriko-koisia sekä erimuotoisia. Suuret tilaukset kuormittavat tuotantoa paljon, sillä ne vievät paljon aikaa. Pahimmassa tapauksessa ne saattavat jopa myöhästyttää muita tilauksia. Pitkät toistuvat sarjat saattavat lisäksi kuor-mittaa työntekijöitä niin henkisesti, kuin fyysisesti. Saman liikkeen tois-taminen satoja kertoja peräkkäin saattaa syödä työmotivaatiota sekä rasit-taa työntekijää fyysisesti. Suurten sarjojen poistaminen työntekijän työ-kierrosta saattaa jopa parantaa työturvallisuutta, sillä näin työhön ei synny liiallista rutiinia. Taulukossa 1 on listattu kappaleet, jotka olisi tarkoitus särmätä robotin avulla.

Taulukosta 1 näkyy, että tyypillisimmät särmättävät kappaleet ovat melko pieniä ja kevyitä. Suurin osa kappaleista on alle yhden kilon painoisia. 31:stä listatusta osasta vain 7 painaa enemmän kuin yhden kilon. Vuotui-set valmistusmäärät ovat kuitenkin monen kappaleen kohdalla useita tu-hansia kappaleita.

Taulukko 1

Osa	mitat (mm)	Massa (kg)	Taivutus- ten mää- rä(kpl)	Tyypillinen eräko- ko(kpl)	Menekki / vuosi(kpl)
Osa 1	645 x 248,7	2,9	2	168	2896
Osa 2	234 x 157,4	0,66	3	500	5100
Osa 3	921 x 198	3,4	4	500	4330
Osa 4	762,2 x364,2	4,5	4	500	1500
Osa 5	1316,5X 435	14,8	2	400	1280
Osa 6	419,7 x 220	2,53	2	500	2165
Osa 7	268 x 35	0,57	2	300	1900
Osa 8	265 x 73	0,7	1	500	3800
Osa 9	236 X 40	0,12	3	1000	6500
Osa 10	142 x 68	0,29	1	3000	6000
Osa 11	148 x 99	0,29	3	400	2000
Osa 12	194 x 194	0,9	1	500	1500
Osa 13	274 x 101	0,2	2	200	1200
Osa 14	220 x 165	0,25	2	200	1200
Osa 15	163 x 64	0,1	2	500	1200
Osa 16	150 x 64	0,1	2	500	1600
Osa 17	150 x 64	0,1	2	600	3500
Osa 18	145 x 95	0,19	3	400	1300
Osa 19	163 x 141	0,24	4	400	1700
Osa 20	265 x 173	0,247	4	400	1200
Osa 21	312 x 177	0,45	6	400	1400
Osa 22	471 x 201	0,55	4	400	1200
Osa 23	1318,5 x 100	11,2	1	96	1008
Osa 24	275 x 110	1,14	2	200	3400
Osa 25	1765 x 64	0,2	2	200	500
Osa 26	2165 x 64	0,215	2	200	500
Osa 27	2155 x 203	0,7	3	200	500
Osa 28	1755 x 203	0,8	3	200	500
Osa 29	765 x 64	0,1	2	200	600
Osa 30	965 x 64	0,1	2	200	600
Osa 31	755 x 203	0,3	3	200	600
Osa 32	955 x 203	0,45	3	200	600
Osa 33	507 x 165	0,2	4	300	1000



kuva 11 (Juuso Ylönen 2017)

Kuvassa 11 on esitetty esimerkki särmättävästä kappaleesta. Levyssä on 4 taivutusta.

## 7 POHDINTAA

Tarjouksista kaksi vaihtoehtoa nousee heti ylitse muiden; Firma 3, sekä Firma 4 ovat hintansa puolesta suotuisimmat vaihtoehdot. Firma 2:n tarjous ei ollut avaimet käteen - paketti, mutta sen hinta oli kuitenkin enemmän kuin Firma 3:n tarjous. Näin ollen se voidaan tiputtaa heti kilpailusta pois. Samoin käy Firma 6:n tarjoukselle, joka oli kalliimpi, kuin kaikki muut viisi tarjousta yhteensä.

Firmojen 1, 3 & 4 tarjoukset ovat sisällöltään kaikki samanlaisia. Kaikki ovat avaimet käteen - paketteja, eli laitetoimittaja vastaa kiinteistöön liittyviä asioita lukuun ottamatta kaikesta. Pakettiin kuuluu robotti sekä toimilaite, paikoitusasemat, turva-aidat ja muut turvallisuuteen liittyvät asiat, sekä CE-merkintä. Näin ollen merkittävimäksi tekijäksi valinnassa nousee hinta. Firma 3:n tarjous on 12 885 € halvempi kuin Firma 1:n sekä 27 400 € halvempi kuin Firma 4:n tarjous.

Vertailtavaksi jää siis Firma 3 sekä Firma 4. Molemmissa vaihtoehdoissa on omat hyvät ja huonot puolensa. ProLaserin tilauskanta on viimeisen vuoden aikana kasvanut ja kappalemäärältään suuret tilaukset kuormittavat tuotantoa suuresti ja pahimmassa tapauksessa myöhästyttävät pienempien tilausten aikatauluja. ProLaserilla työskentelee tällä hetkellä kaksi särmääjää yhdessä vuorossa, mutta esille on tullut myös vaihtoehto siitä, että siirryttäisiin tekemään kahta vuoroa, siten että vuorossa olisi yksi särmääjä per vuoro.

Robotilla pystytään tekemään pitkiä sarjoja, riippuen sarjan koosta ja siitä, kuinka paljon lavalle pystyy kerrallaan pinoamaan valmiita kappaleita. Pitkistä sarjoista johtuen robotti ei tarvitse omaa työntekijää, vaan särmääjä pystyy hoitamaan sitä muun työn ohessa.

Firma 3:n tarjouksessa etuna on hinta. Tarjous on 41 800 € Firma 4:n tarjousta halvempi. Robotti liitettäisiin vanhan särmäyskoneen yhteyteen, joten kaikki tarvittavat komponentit robottikorttia lukuun ottamatta on jo olemassa. Vanhan särmäyskoneen etu on se, että se on tuttu kone eikä aikaa kulu uuden opetteluun, kun vanhat ohjelmat löytyvät koneen muistista. Firma 3:n vaihtoehto ei vie myöskään kovin paljon enempää tilaa kuin nykyään. Tilanpuute on tällä hetkellä ongelma ProLaserin tiloissa, eikä selkeää paikkaa uudelle särmäyssolulle ole vielä löydetty. Valittaessa Firma 3:n tarjous, ProLaser voisi siirtyä kahteen vuoroon, tai vaihtoehtoisesti robotti voisi korvata toisen työntekijän ja jatketaan yhdessä vuorossa. Joka tapauksessa kahta työntekijää ei enää samassa vuorossa tarvittaisi.

Firma 3:n tarjoama robotti omaa 50 kg:n kantavuuden, kun taas Firma 4:n tarjoama robotti kantaa ainoastaan 20 kg. Mikään ei toki estä pyytämästä uusia tarjouksia muun kokoisista roboteista. 50 kg:n robotin etu on se, että sillä pystyisi käsittelemään myös mahdollisia raskaampiakin kappaleita. Raskaampia kappaleita on toki jo nyt tuotannossa, mutta ei niin isoissa sarjoissa, että niitä varten kannattaisi robottia hankkia. Tulevaisuudesta ei osaa kukaan sanoa. Firma 4:n robotti on kantavuudeltaan 20 kg. Se ei välttämättä riitä käsittelemään Taulukossa 1 osa nro 5:tä, jonka massa on 14,8 kg. Se riippuu siihen käytettävästä tarraimesta. Muita kappaleita 20 kg:n robotilla pystyy käsittelemään vaivatta.

Firma 4:n tarjouksen etu on se, että uuden särmäyskoneen myötä jäljelle jäisi kaksi vanhaa konetta, joilla pystyy edelleen työstämään pienempiä sarjoja samanaikaisesti. Tarjous on myös suhteessa paljon halvempi, kun vertaa paljonko uusi särmäyskone ja robotti maksaisivat erikseen hankittuna. Vertailukohtana käytetään muita robottitarjouksia, sekä hintaa, jonka ProLaser on maksanut tämänhetkisistä särmäyskoneista. Jos tuotannon tilausmäärät tulevat tulevien vuosien aikana kasvamaan, on Firma 4:n tarjous silloin varsin pätevä ja melko todennäköisesti todennäköisin vaihtoehto.

Uuden särmäyssolun haittapuolena ovat tilaongelmat. Jotta uusi solu saataisiin tuotantotiloihin, joudutaan koneiden ja varastojen järjestystä muuttamaan. Ennen uuden solun tilausta pitää selvittää, saadaanko tilaa järjestettyä tarpeeksi.

Firma 3:n tarjous pitää vielä lisäksi sisällään kaksi valmista tarrainta valikoiduille kappaleille. Firma 4:n tarjouksen hinta ei sitä pidä sisällään, mutta firman edustajan kanssa käyty keskustelu antoi ymmärtää, että kaksi valmista tarrainta on mahdollista toteuttaa. Jatkossa imukuppitarraimia on mahdollista vaikka rakentaa itse niiden yksinkertaisuuden vuoksi.

### 7.1 Kustannuslaskelma

Kustannuslaskelma on toteutettu siten, että lasketaan robotin tai uuden solun takaisinmaksuaika yhden työntekijän palkan perusteella. Firma 3:n laskelma on toteutettu kahdella tavalla; yksi työntekijä tekee yhtä vuoroa, tai kaksi työntekijää työskentelee päivä- ja iltavuorossa. Keskimääräinen

palkka on 13 €/h ja se kerrotaan 1,7, jolloin saadaan firmalle aiheutuvat kulut tunnissa, eli 22,1 €. Metalliliiton iltalisä on 115 senttiä per tunti.

Firma 4:n laskelma on toteutettu siten, että kaksi työntekijää työskentelee samassa vuorossa. Molemmat tapaukset on laskettu sen tuntimäärän mukaan, minkä työntekijä työskentelee vuodessa, kun tuntimäärästä vähennetään 5 viikkoa (47vko/vuosi) lomaa sekä metalliliiton 12,5 päivää niin sanottuja Pekkaspäiviä. Päivittäinen tuntimäärä on 8 tuntia. Arkipyhiä ei huomioida.

#### Tapaus 1

Firma 3, 1 työntekijä, 1 vuoro.

$$13\text{€/h} \times 1,7 = 22,1 \text{ €}$$

$$40 \text{ h} \times 47 - 12,5 \text{ pvä} \times 8\text{h} = 1760 \text{ h/vuosi}$$

$$22,1 \text{ €} \times 1760 = 39\,338 \text{ € / vuosi}$$

$$81\,200\text{€} / 39\,338 \text{ €/vuosi} = 2,06141 \text{ vuotta}$$

Takaisinmaksuaika tapauksessa 1 on 2,1 vuotta tai 754 päivää

#### Tapaus 2

Firma 3, 1 työntekijä, 2 vuoroa

päivävuoro: 39 338 € / vuosi

iltavuoro:

$$14,15 \times 1,7 = 24,055 \text{ €/h}$$

$$24,055 \text{ €} \times 1760 = 42\,817,9 \text{ € / vuosi}$$

$$\text{Päivävuoro} + \text{iltavuoro} = 39\,338 \text{ €} + 42\,817,9 \text{ €} = 82\,155,9 \text{ € /vuosi}$$

$$81\,200\text{€} / 82\,155,9\text{€/vuosi} = 0,988 \text{ vuotta}$$

Takaisinmaksuaika on 0,99 vuotta tai 361 päivää

#### Tapaus 3

$$2 \text{ työntekijää päivävuorossa} = 39\,338 \times 2 = 78\,676 \text{ € / vuosi}$$

$$123\,000\text{€} / 78\,676\text{€/vuosi} = 1,56337$$

Takaisinmaksuaika on 1,6 vuotta tai 571 päivää.

## 7.2 Laskenta-analyysi

Tapauksessa 1, missä robotti korvaa kokonaan toisen tämänhetkisistä työntekijöistä, on firman kannalta epäedullisin reilun kahden vuoden takaisinmaksuajalla. Tapaukset 2 & 3 ovat mielestäni vielä melko edullisia takaisinmaksuajan perusteella. Edes tuo tapaus 3 reilun 1,5 vuoden takaisinmaksuajalla ei ole vielä mitenkään sietämätön. 8 tunnin päivittäinen käyttöaika laskennassa voi ainakin alkuun olla turhan optimistinen, mutta ajan ja kokemuksen myötä päivittäinen käyttöaika tulee kasvamaan. On vaikea arvioida, kauanko eri kappaleiden ohjelmointiin menee aikaa, mutta kun ohjelmat ovat valmiita, pitäisi aikaa kulua vain lastaamiseen ja valmiin ohjelman valintaan. Robotin jättäminen työskentelemään työajan ulkopuolella pidentää päivittäistä käyttöaikaa entisestään.

## LÄHTEET

- Aaltonen, K., Andersson, P. & Kauppinen, V. 1997. Levytyö- ja työvälit  
netekniikat. Porvoo: WSOY
- Aaltonen, K. & Torvinen, S. 1997. Konepaja-automaatio. Porvoo: WSOY
- ABB Oy. 2017 Viitattu 25.04.2017,  
<http://new.abb.com/products/robotics/fi/teollisuusrobotit/irb-360>
- ABB Oy. 2017. Viitattu 25.04.2017  
<http://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-910sc>
- ABB Oy. 2017. Viitattu 25.04.2017  
<http://new.abb.com/products/robotics/fi/teollisuusrobotit/irb-2600>
- Cimcorp Oy. 2017. Viitattu 1.5.2017  
[http://cimcorp.com/fi/media/references/logistics-  
automation/revolutionizing-dairy-industry-cutting-edge-warehouse](http://cimcorp.com/fi/media/references/logistics-automation/revolutionizing-dairy-industry-cutting-edge-warehouse)
- Ellman, A., Hautanen, J., Järvinen, K. & Simpura, A. 2002. Pneumatiikka.  
Helsinki: Edita Prima Oy
- Finnrobotics Oy. 2017. Viitattu 1.5.2017  
<http://finnrobotics.fi/uutiset/page/6/>
- Ixtur LTD. 2017. Viitattu 1.5.2017  
<http://www.ixtur.com/index.php/products/map-series-article>
- Kuivanen, R. 1999. Robotiikka. Vantaa: Talentum Oyj/Metallitekniikka
- Monkman, G., Hesse, S., Steinmann, R. & Schunk, H. 2007. Robot Grippers.  
Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co.
- Ponkkonen R. 2017. Teollisuusrobotit.  
Robotiikka-opintojakson verkkoaineisto. Hämeen ammattikorkeakoulu, U-  
asema. Viitattu 1.5.2017  
<https://myfiles.hamk.fi/htcomnet/>
- SFS-EN ISO 10218-1:2011, Teollisuusrobotit. Turvallisuusvaatimukset.  
Osa 1: Robotti

